

## **ANALISIS KEGAGALAN FIRE RING PENYEBAB KERUSAKAN PISTON MESIN UNIT KENDARAAN BERMOTOR**

### **FIRE RING FAILURE ANALYSIS CAUSES OF PISTON ENGINE DAMAGE FROM MOTOR VEHICLE UNIT**

**Eka Febriyanti, Amin Suhadi**

Peneliti Pada Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur, BPPT  
Kawasan PUSPIPTEK, Serpong, Tangerang 15314  
Tel. (021)-7560539; Fax. (021)-7560538  
E-mail : eka.febriyanti@bppt.go.id, amin.suhadi@bppt.go.id

#### **Abstrak**

*Fire ring* atau *oil scraper ring* merupakan salah satu komponen penting dari mesin yang berada pada chamber pembakar dan berlokasi di atas piston serta berfungsi untuk membantu dalam kontrol oli sehingga pembakaran berlebih dapat diminimalisir. Hal tersebut disebabkan karena *fire ring* dapat membiarkan oli untuk lewat sehingga dapat melumasi piston dan *cylinder wall*. Oleh karena itu, peranan dari *fire ring* sangat mempengaruhi kinerja dari mesin diesel suatu kendaraan. Apabila *fire ring* tidak terinstall dengan baik maka menyebabkan *fire ring* akan gagal setiap saat, hal ini menyebabkan mesin dapat rusak pada hitungan detik. Pada penelitian ini *fire ring* mengalami kerusakan selama *overhaul* (bongkar mesin). Penelitian dilakukan dengan menggunakan sistem tulang ikan, yaitu meneliti dari berbagai kemungkinan kerusakan sampai ketemu penyebab utamanya. Detail analisis dari permukaan yang rusak menunjukkan bahwa kerusakan *fire ring* disebabkan oleh beban dampak tinggi yang diberikan oleh pemukul piston secara tidak homogen sehingga menghasilkan kelebihan beban pada daerah *fire ring* tertentu dan akhirnya menghasilkan retak dan patahan. Patahan ini diawali dengan pemindahan kedudukan *fire ring* yang tidak tepat pada piston.

Kata Kunci : *Fire ring*, Piston, Getas, Beban Dampak

#### **Abstract**

*Fire ring* or *oil scraper ring* is an important component of engine and which located at burner chamber and on the top of piston, while it helps into oil control so that loss combustion can be minimized. It is because *fire ring* allows oil to pass and lubricate piston and *cylinder wall*. Therefore, the role of *fire ring* is very important to performance of diesel engine in automotive. If this *fire ring* is installed incorrectly or fails at any time, the engine can be ruined in a matter of seconds. In this research the *fire ring* failed during in *overhaul*. Research was taken place using fish bone analysis by considering all probability to cause failure until find the strongest evidence of root cause to failure. Detail analysis of the failed surface showed that failure of *fire ring* is caused by high impact load was given by piston stroke to remove the *fire ring*, the *fire ring* which made of cast iron (characteristically brittle) could not withstand the load and bending fracture occurred.

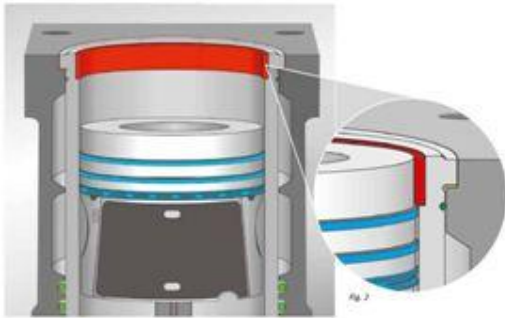
Keywords : *Fire Ring*, Piston, Brittle, Impact Load

Diterima (received) : 20 Mei 2016, Direvisi (reviewed) : 20 Juni 2016, Disetujui (accepted) : 15 Juli 2015

## PENDAHULUAN

*Fire ring* atau *oil scraper ring* merupakan salah satu komponen penting dari mesin yang berada pada chamber pembakar dan berlokasi di atas piston serta berfungsi untuk membantu dalam kontrol oli sehingga pembakaran berlebih dapat diminimalisir. Hal tersebut disebabkan karena *fire ring* membiarkan oli untuk lewat sehingga dapat melumasi piston dan *cylinder wall*<sup>(1)</sup>. Oli dapat melumasi *cylinder wall* karena pergerakan oli naik-turun terhadap *cylinder hole* sehingga oli juga dapat mendinginkan silinder.

*Fire ring* pada piston terdiri atas tiga bagian dimana cincin atas dan bawah terbuat dari besi tuang tipis dan mengelilingi *spacer* yang berlobang serta bergelombang. Sedangkan *ring* pada posisi atas dan tengah biasanya disebut sebagai *compression ring*. Masing-masing *ring* diaplikasikan dengan gap friksi sebesar 1 cm. Lalu, karena *ring* berotasi menyebabkan gap meningkat menjadi 45-90° lokasinya satu sama lain. Selain itu, *fire ring* ditempatkan pada bagian atas *cylinder sleeve* (lihat Gambar 1)<sup>(2)</sup>.



**Gambar 1.**  
*Cylinder Sleeve dengan Fire Ring*<sup>(2)</sup>

*Fire ring* merupakan cincin pada piston yang berfungsi untuk mengumpulkan kelebihan oli yang tidak diinginkan di *cylinder wall* pada *down-stroke* di masing-masing piston<sup>(2-3)</sup> dan bertujuan agar dapat menghilangkan kelebihan oli dalam ruang pembakaran pada pengoperasian normal suatu mesin. Oleh karena itu, dengan adanya *fire ring* maka mesin dapat bersih dari kerak yang dihasilkan dari pembakaran oli berlebih<sup>(3)</sup>. Selain itu, *fire ring* juga berfungsi untuk mencegah terbentuknya *hard coating* atau deposit dari pembentukan karbon di kepala piston (*cylinder head*)<sup>(2)</sup>.

Apabila *fire ring* tidak terpasang dengan baik (*unproper installment*) maka menyebabkan *fire ring* akan gagal setiap saat, hal ini menyebabkan mesin dapat rusak pada hitungan detik sehingga unjuk kerja kendaraan akan berhenti seketika. Oleh karena itu, untuk meningkatkan keselamatan berkendara dan untuk memelihara unjuk kerja kendaraan, *fire ring* harus dijaga agar

tetap berfungsi dengan baik dan tidak rusak. Untuk menghindari agar kerusakan yang serupa tidak terjadi baik pada kendaraan yang sama maupun kendaraan yang berbeda di kemudian hari, maka kerusakan yang sudah terjadi harus diteliti dan dicari penyebab utamanya agar dapat dicegah lebih dini sehingga kerugian material dan jiwa dapat dihindari.

Selain itu, kerusakan atau perpatahan pada suatu komponen baik yang diakibatkan oleh beban dinamis maupun beban statis biasanya dimulai dari posisi yang paling rentan yaitu di daerah yang mengalami konsentrasi tegangan paling besar atau jika materialnya tidak homogen, maka retak dan patah dimulai di daerah yang materialnya paling lemah. Konsentrasi tegangan bisa timbul karena disain yang mengandung sudut tajam, ulir, takikan perubahan diameter yang besar. Selain itu konsentrasi tegangan juga dapat dihasilkan oleh perlakuan panas, proses pengubahan bentuk (*metal forming*), pengerjaan mesin (*machining*) atau karena cacat misalnya adanya rongga, porositas dan inklusi<sup>(6)</sup>.

Pada penelitian ini membahas tentang kerusakan yang terjadi *fire ring* yang berada pada cincin alur kedua (*2nd groove ring*) di piston.

### Kronologis

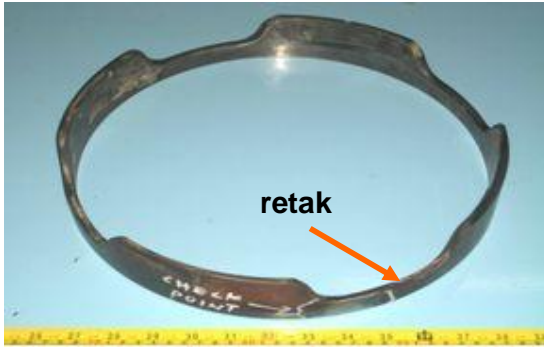
*Fire ring* yang berdiameter 320 mm ditemukan *overhaul* pada pengoperasian 18.000 jam (lihat Gambar 2). *Fire ring* tersebut diinstal pada chamber pembakar di mesin diesel pada suhu operasi 400-800 °C dan tekanan operasi sebesar 135-150 kg/cm<sup>2</sup>.

Lalu, *fire ring* yang rusak diuji dan diperiksa di laboratorium supaya akar penyebab kerusakan dapat ditemukan. Hal ini dilakukan untuk mempercepat proses perbaikan dan mencegah terjadinya kerusakan serta kerugian yang sama di pengoperasian selanjutnya.

### Data Teknis Spesifikasi *Fire ring*

Material *fire ring* memiliki spesifikasi yaitu :

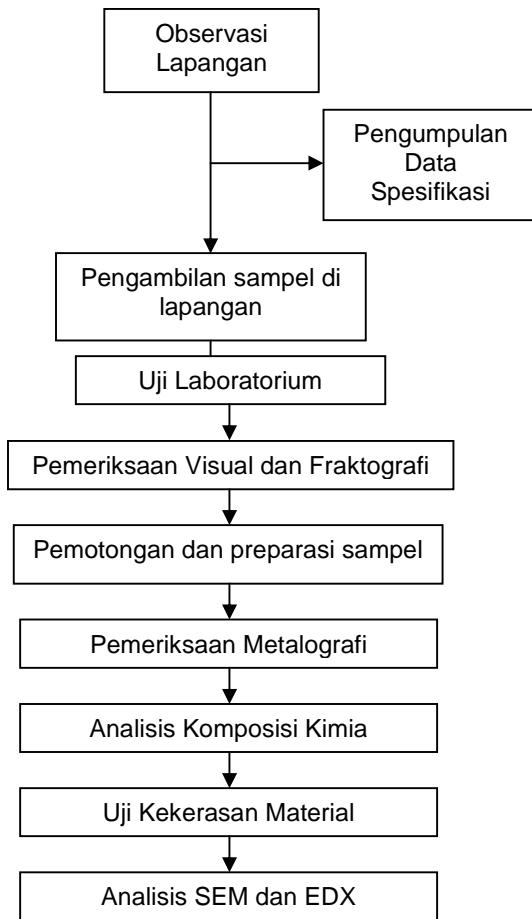
- Jenis material : besi tuang
- Diameter : 320 mm
- Temperatur operasi : 400-800 °C
- Tekanan operasi : 135-150 kg/cm<sup>2</sup>



**Gambar 2.**  
*Fire ring* yang Mengalami Kerusakan

### BAHAN DAN METODE

Metode penelitian terhadap *fire ring* yang mengalami kerusakan dapat dilihat pada Gambar 3 :



**Gambar 3.**  
Diagram Alir Pemeriksaan dan Pengujian terhadap *Fire Ring* yang Mengalami Kerusakan

### Pemeriksaan Visual dan Fraktografi

Analisis visual yang dilakukan pada patahan *fire ring* menunjukkan bahwa secara jelas permukaan patahan berbentuk miring. Retak miring tersebut dihasilkan dari arah pembebanan yang sejajar terhadap *ring*. Pada diameter luar dan dalam dekat dengan retak mengindikasikan adanya jejak alat berupa jalur abrasiif homogen atau goresan (Gambar 4 dan 5). Indikasi adanya goresan juga ditemukan pada diameter dalam *fire ring* (Gambar 5).

Sedangkan dari hasil pemeriksaan fraktografi (Gambar 6) menunjukkan bahwa tipe permukaan patahan *fire ring* berupa patahan *brittle* (getas) dan terdapat indikasi adanya deformasi yang muncul di sekeliling kerusakan. Tidak ada indikasi patahan fatik ataupun jalur perambatan fatik seperti *beach mark* yang ditemukan pada awal permukaan patah. Selain itu, dari hasil pemeriksaan juga ditemukan adanya karat hasil sisa pembakaran di permukaan luar *ring*.

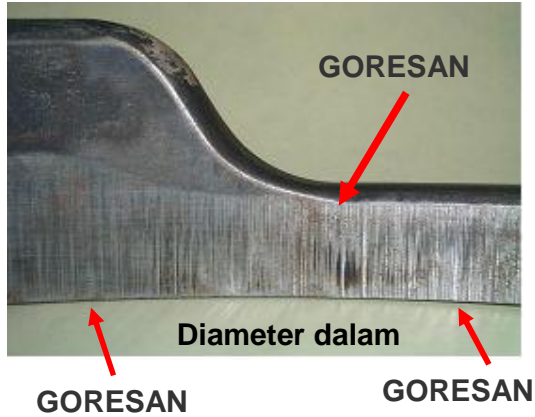


(a)



(b)

**Gambar 4.**  
Daerah retak di diameter dalam dan luar.  
(a) Diameter dalam, (b) Diameter luar



**Gambar 5.**  
Goresan Ditemukan di Permukaan Dalam



**Gambar 6.**  
Permukaan Patahan Fire Ring

### Pemeriksaan Metalografi

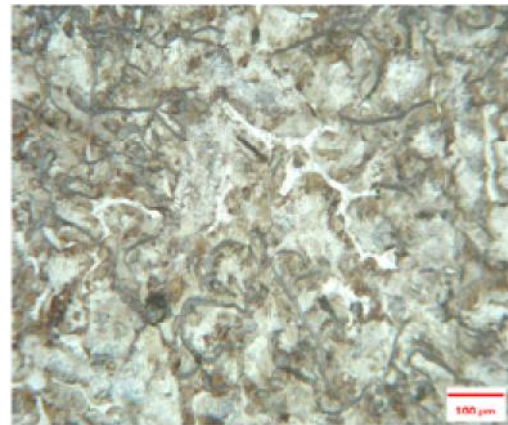
Pemeriksaan metalografi dilakukan untuk memeriksa mikrostruktur material *fire ring* sehingga perambatan retak yang mungkin terdapat di butiran selama beroperasi dapat teridentifikasi. Hasil pengamatan secara mikro menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 50 x, 200 x, dan 500 x yang dapat dilihat dari Gambar 7 sampai Gambar 10.

Dari gambar tersebut menunjukkan bahwa struktur mikro pada material dasar *fire ring* merupakan campuran fasa stedit dan grafit di matrix perlit (Gambar 7-10)<sup>(7)</sup>. Selain itu, tidak ditemukan pula sisa pembakaran ataupun residu jelaga pada permukaan patahan *fire ring*.

Selain itu ditemukan pula retak sekunder pada potongan melintang permukaan patahan *fire ring* (lihat Gambar 7). Beberapa korosi pitting ditemukan pula pada diameter dalam (lihat Gambar 9).

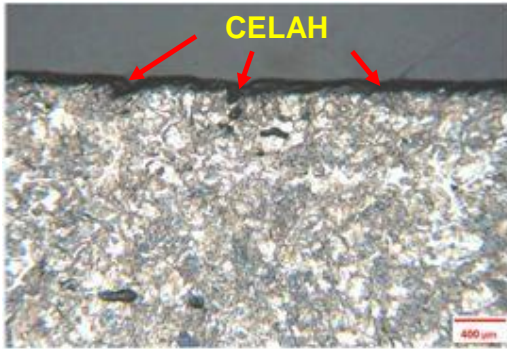


**Gambar 7.**  
Potongan Melintang Patahan Fire Ring



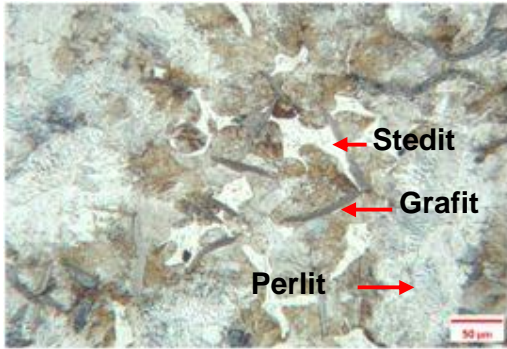
**Gambar 8.**  
Perbesaran dari Gambar 7. Mikrostruktur Fire Ring Terdiri Atas Stedit, Grafit, dan Matrix Perlit<sup>(7)</sup>

**DIAMETER DALAM**



**Gambar 9.**

Mikrostruktur *Fire Ring* Terdiri Atas Stedit, Grafit, dan Matrix Perlit<sup>(7)</sup>



**Gambar 10.**

Mikrostruktur dari *Fire Ring* Terdiri Atas Stedit, Grafit, dan Matrix Perlit<sup>(6)</sup>

**Analisis Komposisi Kimia**

Hasil pengujian komposisi kimia material dari *fire ring* dapat dilihat pada Tabel 1. Hasil uji menunjukkan bahwa material *fire ring* yang diperiksa sesuai dengan standard material ASTM A 159 (Automotive Gray Iron Castings) Grade G3500<sup>(8,9)</sup>.

**Tabel 1.**

Hasil Uji Komposisi Kimia *Fire ring*

Unsur / Elemen	Fire ring	Standard ASTM A 159 Grade 3500
C	31,805	3-3,30
Si	22,299	1,8-2,10
Mn	0,6306	0,6-0,9
P	0,3011	0,12 max.
S	0,0263	0,15 max.
Fe	909,744	Rem.
Mo	0,3425	-
Ni	0,5589	-
Cu	0,9319	-
Cr	0,7635	-

**Pengujian Kekerasan**

Hasil uji kekerasan terhadap *fire ring* dapat dilihat pada Table 2. Hasil uji menunjukkan bahwa untuk permukaan *fire ring* yang retak memiliki nilai kekerasan sekitar 239 - 255 HB. Sedangkan untuk permukaan yang normal nilai kekerasan berkisar antara 239-266 HB. Nilai kekerasan yang diperoleh pada kedua permukaan (lokasi retak dan normal) sesuai dengan standard ASTM A159.<sup>(8,9)</sup>



**Gambar 11.**

Sampel Uji Kekerasan *Fire ring* (Lokasi Retak)



**Gambar 12.**

Sampel Uji Kekerasan *Fire ring* (Lokasi Normal)

**Tabel 2.**  
Hasil Uji Kekerasan *Fire ring*

No.	Nilai Kekerasan (HB)
<b>Lokasi Retak</b>	
1	244
2	244
3	255
4	239
5	239
<b>Rata-rata</b>	<b>244</b>
<b>ASTM A 159</b>	<b>217-269</b>
<b>Lokasi Normal</b>	
1	239
2	255
3	255
4	255
5	266
<b>Rata-rata</b>	<b>254</b>
<b>ASTM A 159</b>	<b>217-269</b>

Sumber Data :Hasil pengujian dengan menggunakan alat Frank Welltest

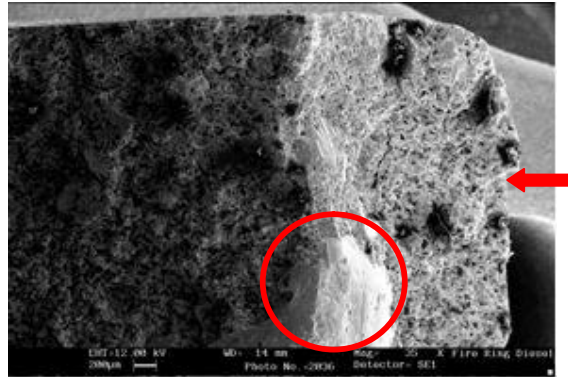
**Analisis SEM dan EDX**

Hasil pemeriksaan menggunakan alat SEM pada daerah patahan *fire ring* menunjukkan adanya tipe patahan *brittle* (getas) (Gambar 13-Gambar 16).

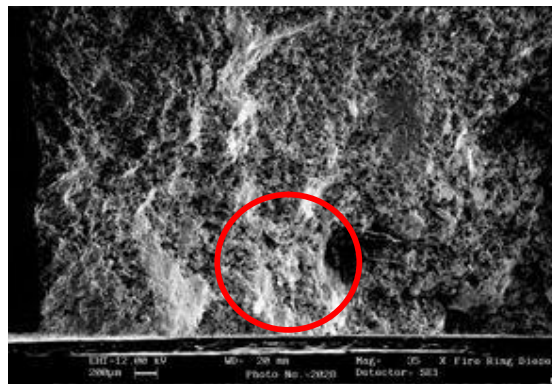
Gambar SEM juga menunjukkan adanya deformasi yang ditemukan pada permukaan patahan *fire ring* (Gambar 13-15) yang digambarkan dengan permukaan yang terang (lingkaran). Selain itu, pada Gambar 13 juga menunjukkan adanya tanda/jalur pengamplasan (*grinding track*) yang ditunjukkan dengan panah.

Gambar SEM juga tidak memperlihatkan adanya indikasi patah fatik seperti striasi dan *beachmarks*. Selain itu, juga tidak menunjukkan adanya cacat material seperti inklusi atau porositas yang ditemukan.

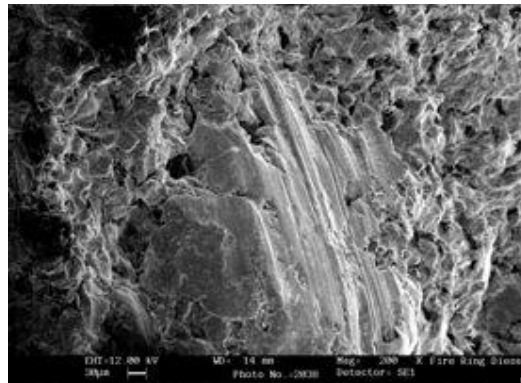
Khusus pada Gambar 16 dapat dilihat bahwa permukaan patahan membentuk tipe patahan transgranular dan tipe dimple.



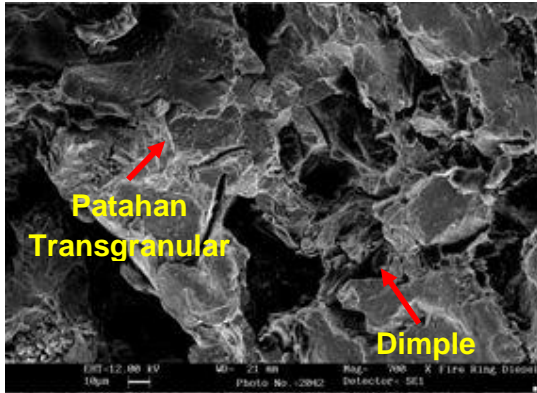
**Gambar 13.**  
Hasil SEM dari Permukaan Patahan *Fire ring*



**Gambar 14.**  
Hasil SEM dari Permukaan Patahan *Fire ring*



**Gambar 15.**  
Perbesaran Patahan *Fire ring* dari Gambar 14



**Gambar 16.**

Hasil SEM dari Permukaan Patahan *Fire ring* Menunjukkan Indikasi Patahan *Cleavage* dan *Dimple*

## PEMBAHASAN

Dari hasil pemeriksaan komposisi kimia terhadap material *fire ring* diketahui bahwa material yang digunakan tersebut sesuai dengan standard komposisi kimia material ASTM A 159 Grade 3500 (*Automotive Gray Iron Castings*) sehingga pengaruh faktor kesalahan material tidak menjadi tinjauan dalam pembahasan ini.

Pemeriksaan permukaan *fire ring* yang patah menunjukkan fakta-fakta yaitu :

1. Tidak ada indikasi patahan fatigue seperti cacat material berupa inklusi atau porositas, residu jelaga sisa pembakaran, ataupun *stress raiser* misalnya takikan yang ditemukan pada permukaan patahan.<sup>(4)</sup>
2. Selanjutnya, dari informasi kronologis kerusakan diketahui bahwa *fire ring* patah selama *overhaul* (bongkar mesin). Hal ini membuktikan bahwa retak tidak muncul selama kondisi mesin piston beroperasi. Hal tersebut diperjelas dengan adanya bukti ditemukannya jalur abrasif homogen berupa goresan yang tegak lurus terhadap diameter *fire ring* (Gambar 5 dan Gambar 13).

Dari fakta-fakta dan data yang telah diperoleh menunjukkan bahwa kerusakan diawali dengan pemindahan kedudukan *fire ring* yang tidak tepat pada piston. Akibatnya, ketika gaya dampak tinggi diberikan oleh pemukul piston untuk memindahkan *fire ring*, maka *fire ring* yang terbuat dari besi tuang kelabu (karakteristik besi tuang kelabu : *brittle*/getas) tersebut tidak dapat menahan beban sehingga patahan bending terjadi. Bukti penampakan patahan tipe *brittle*/getas akibat beban dampak yang sangat tinggi

melebihi beban operasi normal<sup>(10,11)</sup> dapat dilihat pada patahan *fire ring* (lihat Gambar 6) dan bukti kehadiran retak sekunder di permukaan patahan (lihat Gambar 7). Adanya deformasi abrasif yang ditemukan pada permukaan patahan *fire ring* (lihat Gambar 5 dan Gambar 13) merupakan efek sekunder yang diindikasikan karena adanya kontak antara permukaan cincin yang satu dengan lainnya setelah mereka patah, sambil beban dampak tinggi masih terus diberikan dari pemukul piston.

## SIMPULAN

Dari hasil observasi, pengamatan, dan analisa laboratorium serta pembahasan dapat disimpulkan bahwa penyebab kerusakan *fire ring* adalah prosedur instalasi dan pemasangan yang tidak tepat. Pemasangan yang tidak tepat akan menghasilkan beban dampak tinggi dan tidak homogen dari pemukul piston ke *fire ring* (yang berkarakteristik getas) sehingga menghasilkan kelebihan tegangan pada daerah tertentu dan akhirnya menghasilkan retak dan patahan.

## SARAN

Saran yang perlu dilakukan untuk mencegah terjadi kerusakan yang sama di masa mendatang yaitu melakukan instalasi dan pemasangan *fire ring* mengikuti instruksi manual dari manufaktur.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ir. Sudarmadi, M.Eng., MSc. selaku Kepala B2TKS BPPT, Dr.Ing.H.Agus Suhartono selaku Kepala Bidang Kajian Material B2TKS, dan Sutarjo, ST, MM selaku Kepala Sub Bidang Analisa Kerusakan dan Umur Sisa untuk koordinasi dan pemberian ijin dalam menggunakan alat uji laboratorium.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Dagle John F., "**Piston, Piston Rings, and Connecting Rod Assembly**", Diesel Engine Repair, 2001, hal.128-129
2. Turan, Dilek dan Adam Karci, "**Failure analysis of an aircraft piston engine components**", Engineering Failure Analysis, 16 (2009), hal.1339-1345
3. Obert, Petra, Torbern Muller, dkk, "**The influence of oil supply and cylinder liner temperature on friction, wear, and scuffing behaviour on piston ring**

- cylinder liner contacts-A new model test**", Tribology International, 94 (2016), hal.306-314
4. Wulpi, DJ., "**Failures of Shafts, In : Failure and Prevention**", ASM Metals Handbook, Failure Analysis, Vol 11, 10th Edition, American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 2008.
  5. Oliva, A, S.Held, "**Numerical multiphase simulation and validation of the flow in the piston ring pack of an internal combustion engine**", Tribology International, 101 (2016), hal.98-109
  6. Das, Souvik, G. Mukhopadhyay, dan S.Bhattacharyya, "**Failure analysis of axle shaft of a fork-lift**", Case Studies in Engineering Failure Analysis, 3 (2015), hal.46-51
  7. Espadafor, F. J., J.B. Villanueva, dkk, "**Analysis of a diesel generator cylinder failure**", Engineering Failure Analysis, 17 (2010), hal.913-925
  8. Standard Testing of ASTM, "**Vol 01.01 ASTM A 159 : (Automotive Gray Iron Castings) Grade G3500**", ASTM Standard, Ninth Edition, American Standard of Testing Material, Ohio, 1998
  9. Pevec, M., G.Oder, dkk, "**Elevated temperature low cycle fatigue of grey cast iron used for automotive brake disc**", Engineering Failure Analysis, 42 (2014), hal.221-230
  10. Meyers, M.A., Chawla, K.K., "**Mechanical Metallurgy Principles and Application**", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ (1984), hal. 487-490
  11. Lacalle, R, S.Cicero, V.Madrado, dkk, "**Analysis of the failure of a cast iron pipe during its pressure test**", Engineering Failure Analysis, 31 (2013), hal.168-178